

стеклоподобных матриц [2,3]. Их недостатками являются низкая эффективность, многостадийность и высокая стоимость.

Существенное снижение энергозатрат может быть достигнуто при плазмохимической переработке ИЛО в виде оптимальных по составу илоорганических суспензий (ИЛОС), имеющих адиабатическую температуру горения не менее 1200°C [4].

На рис. 1 показано влияние содержания ИЛО и дизельного топлива (ДТ) на адиабатическую температуру горения ($T_{ад}$) различных по составу илоорганических суспензий.

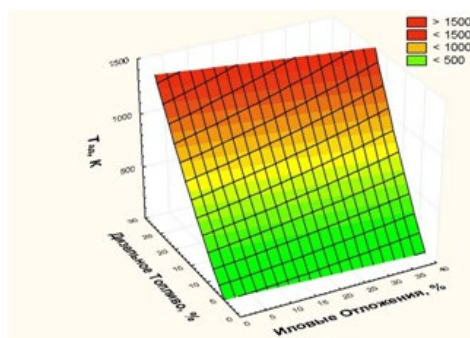


Рис. 1. Влияние содержания ИЛО и ДТ на адиабатическую температуру горения илоорганических суспензий

Из полученной зависимости определен состав илоорганической суспензии (ИЛОС-1) с максимальным содержанием ИЛО (40 %), имеющей $T_{ад} \approx 1200^\circ\text{C}$: (15,5 % ДТ : 44,5 % Вода : 40 % ИЛО). Для определения оптимальных условий процесса проведены расчёты равновесных составов газообразных и конденсированных продуктов плазмохимической переработки композиции ИЛОС-1. Расчёты проведены при атмосферном давлении (0,1 МПа), широком диапазоне температур (300–4000) К и для различных массовых долей воздушного плазменного теплоносителя (10–90) %. Для расчётов использовалась лицензионная программа «TERRA».

В результате проведенных расчетов показано, что при температурах до 1500 К и массовой доле воздуха 70 % и выше основными продуктами в конденсированной фазе являются простые и сложные оксиды металлов (SiO_2 , Al_2O_3 , ZnO , MnO , Cr_2O_3 и др.) включая магнитный оксид железа Fe_3O_4 (с), что позволит применить магнитное осаждение для извлечения этих продуктов.

По результатам проведенных исследований могут быть рекомендованы для практической реализации следующие условия: состав композиции ИЛОС-1 (15,5 % ДТ : 44,5 % Вода : 40 % ИЛО); массовое отношение фаз (70 % воздух : 18 % ИЛОС-1); температура (1500±200) К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешкин Е.А., Каренгин А.Г., Шаманин И.В. // IV Международная школа-конференция молодых ученых Сибири: Сборник тезисов докладов. – Томск: ТПУ, 2013. С. 18.
2. Шингарев Н.Э. и др. Способы обращения с илами водоемов-хранилищ радиоактивных отходов. // Экология и промышленность России. 2000. № 3. С. 43–45.
3. Соболев И.А., Хомчик Л.М. Обезвреживание радиоактивных отходов на централизованных пунктах. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 75–78.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЖНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДИСПЕРСИОННОЕ УРАН-ТОРИЕВОЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

Хоцеловский Н.С., Каренгин А.А., Побережников А.Д.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nsh4@tpu.ru

Приоритетным направлением дальнейшего развития ядерной энергетики в России является создание АЭС с реакторами на быстрых нейтронах, использующих уран-плутониевое дисперсионное ядерное топливо (ДЯТ) в виде сложных оксидных композиций (СОК), включающих оксиды делящихся металлов (уран, плутоний) распределенных в матрице с высокой теплопроводностью и низким сечением резонансного поглощения нейтронов [1].

В отличие от применяемых методов получения сложных оксидных композиций (СОК) путем раздельного получения и механического смешения оксидов металлов, плазмохимический синтез СОК из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны), имеет следующие преимущества [2]: одностадийность, гомогенное

распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энерго- и трудозатраты.

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза СОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих ацетон и смешанные водные нитратные растворы неодима (вместо урана), самария (вместо плутония) и магния.

Подготовленные растворы ВОНР подавались (300 л/час) через диспергатор в реактор плазменного модуля на базе ВЧФ-плазмотрона, где в воздушно-плазменном потоке при температурах $\geq 1000^\circ\text{C}$ осуществлялся синтез СОК, затем в узле «мокрой» очистки происходило их резкое охлаждение («закалка») с образованием водных суспензий, которые отстаивали, фильтровали и прокаливали в течение 20 минут при температуре 150°C .

В ходе исследований проводились лазерная дифракция водных суспензий СОК, сканирующая электронная микроскопия, БЭТ-анализ и рентгенофазовый анализ полученных порошков.

Установлено, что при расходе воды на «закалку», частоте диспергатора (50 Гц) и различных $\alpha = \text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Nd})$ увеличение доли матрицы в виде Y_2O_3 (10...30 %) в составе СОК « $\text{Nd}_2\text{O}_3\text{-Sm}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ » приводит:

- (при $\alpha = 0,1$) к снижению размера частиц водных суспензий СОК с 12,1 мкм до 4,3 мкм, увеличению Суд порошков СОК с 5,5 до 7,8 $\text{м}^2/\text{г}$ и снижению размера «зерен» в СОК с 147 нм до 115 нм;

- (при $\alpha = 0,3$) к снижению размера частиц водных суспензий СОК с 13,6 мкм до 10,2 мкм, увеличению Суд порошков СОК с 6,9 до 8,6 $\text{м}^2/\text{г}$ и снижению размера «зерен» в СОК с 118 нм до 93 нм;

Это позволяет утверждать, что плазменная переработка диспергированных растворов ВОНР в воздушно-плазменном потоке приводит к плазмохимическому синтезу наноразмерных СОК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-19-00136).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Novoselov I.Yu., Karegin A.G., Babaev R.G. Simulation of Uranium and Plutonium Oxides Compounds Obtained in Plasma // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 1938. – P. 1-5.

SYNTHESIS OF OXIDE POWDERS FOR NUCLEAR FUEL IN PLASMA OF TORCH DISCHARGE

Tikhonov A.E., Novoselov I.Yu.

Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050

E-mail: aet13@tpu.ru

Ceramic nuclear fuel made of UO_2 has a number of disadvantages: low thermal conductivity, high brittleness, tendency to crack, a short cycle of use, and a limited resource of the ^{235}U [1]. This has caused a slowdown in the development of nuclear energy in a number of countries.

A promising today is the creation of dispersion nuclear fuel, which is characterized by the absence of contacts between particles of fissile material due to their uniform distribution in the matrix and has the following advantages: high thermal conductivity and good mechanical properties, high enough fissile material burn, high radiation resistance and strength, localization of fission products in matrix [2].

Common disadvantages of the technologies used to obtain complex oxide compositions from solutions (usually nitric-acid) are: multi-staging, high cost of processing raw materials, inhomogeneous phase distribution, the need to use much chemicals.

At the same time, the technology of synthesis of oxides in air plasma has the following advantages: one-staging, homogeneous distribution of phases with a given stoichiometric composition, the ability to actively influence the size and morphology of particles [3, 4].

It should be noted that the processing of nitric-acid solutions in plasma is quite expensive. To reduce energy consumption, it needs to add any organic component into the solutions, which, when oxidizing in the air plasma, creates additional energy, allowing to increase the consumption of the processed solution and, thus, increase the yield of the target product.

The work represents carried out thermodynamic modeling of plasmachemical synthesis of complex oxide compositions from water-organic nitrate solutions (WONS), consisting of fissile material (inclusion) and matrix. Uranium dioxide was considered as a fissile inclusion, and magnesium oxide as the matrix material, acetone were used as organic component. The proportion of fuel inclusion in the target complex oxide composition was selected within the range of 95% – 85%, the proportion of the matrix within 5% – 15%.

Based on the modeling results, the optimal WONS based on uranyl nitrate, magnesium nitrate and acetone were calculated, and the optimal modes (WONS–air ratios) of the WONS plasma treatment were calculated. It was shown that with an excess of air, non-target products (UO_3 , U_3O_8 , U_4O_9) are formed from the initial solutions, with a deficiency of air – products of incomplete thermal decomposition of hydrocarbons in WONS (soot). It was shown that the optimal air fraction varied in the range of 69% – 71%.